



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS**

**CARRERA:
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**TEMA:
PROTOCOLO LORA PARA ANÁLISIS DE MEDICIÓN CON
GPS Y ARDUINO EN LA INDUSTRIA GANADERA DEL
ECUADOR: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA**

**AUTOR:
CARLOS ALBERTO PAZMIÑO SÁNCHEZ**

**TUTOR:
ING. JOE FRAND LLERENA IZQUIERDO**

**ABRIL 2021
GUAYAQUIL-ECUADOR**

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CARLOS ALBERTO PAZMIÑO SÁNCHEZ**, declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del/los autor/es.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Carlos Alberto Pazmiño Sánchez", written over a horizontal line.

Firma del autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Joe Parema", written over a horizontal line.

Firma del tutor

Protocolo LORA para análisis de medición con GPS y Arduino en la industria ganadera del Ecuador: una revisión sistemática

Carlos Pazmiño-Sánchez¹[0000-0002-9441-4663], Juan Andrade-Calderón¹[0000-0003-0712-2767]
and Joe Llerena-Izquierdo¹[000-0001-9907-7048]

¹Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador
cpazminos@est.ups.edu.ec, jandrade@ups.edu.ec,
jlllerena@ups.edu.ec

Abstract. Para lograr un análisis crítico sobre la problemática de la pérdida del ganado en el Ecuador y posibles soluciones mediante la tecnología, se realiza el estudio sistemático al ámbito ganadero, que incluye una vasta variedad de tesis, artículos científicos, conferencias y los beneficios que tecnologías LoRaWAN puedan ser aplicadas. Se evidencian varias problemáticas de las cuales el abigeato de ganado es muy común y de inmediata atención por parte de los productores ganaderos que realizan esta labor. Este documento presenta una solución con aplicación del internet de las cosas, IoT con tecnología LoRaWAN y Sigfox, teniendo como objetivo una propuesta de monitoreo en tiempo real de manera eficiente y con mayor precisión el estado detallado del ganado. Analiza un escenario o topología de estudio para el modelo de comunicación y la transferencia de datos. Los resultados obtenidos, demuestran que las tecnologías utilizadas permiten elaborar un modelo válido de medición para el análisis digital por medio del protocolo LORA, combinado con tecnología GPS aplicada en a la industria ganadera.

Keywords: IoT, monitoreo de ganado, LoRaWAN.

1 Introducción

La industria ganadera es aquella que realiza la producción, crianza y confinamiento de animales para adquirir productos como carnes, leche o pieles. La producción ganadera entre la bovina, ovina, porcina y vacuna tienen altos estándares por su aceptación a nivel mundial. En el Ecuador, una de las actividades con mayor progreso es la ganadería bovina de carnes, la cual se estima como una actividad socioeconómica de gran relevancia dentro de las labores del campo, cuestionada por su baja productividad y el impacto ambiental.

En el Ecuador las políticas dirigidas para un desarrollo apropiado hacia el sector ganadero vigentes desde el año 2004 por organismo encargado, el Ministerio de

Agricultura y Ganadería¹ (anteriormente llamado Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca), han generado mecanismos legales para problemas como deforestación de la biodiversidad, robo por abigeato, pérdida de cabezas de ganado, trazabilidad, entre otras [1][2]. Pero es notorio que todavía existe una carencia del uso de las tecnologías existentes generando una gran brecha digital en el sector [3], de tal forma que afecta a los productores del sector ganadero manteniendo un nivel competitivo bajo en mercados nacional como internacional.

En el sector de la ganadería ecuatoriana, cuenta con múltiples ventajas como clima, suelo, y ubicación geográfica, que permiten lograr una producción ganadera de excelente calidad a costo razonable dentro y fuera del país. Los ganaderos del Ecuador al considerar una planificación apropiada de incorporar tecnología en distintas áreas, para el suelo, control de áreas, trazabilidad de enfermedades, etc.... optimizarían los niveles de producción del ganado similar a nivel internacional [4][5]. Mediante la implementación de tecnología en el sector ganadero, el mismo que actualmente se encuentra por una revolución digital, adaptándose a las nuevas técnicas y aplicaciones emergentes orientadas para el control y progreso de explotaciones de los rebaños, por ejemplo, se producen tendencias afines a lo que se conoce como “ganadería inteligente” [6]. Una de las herramientas dentro de esta área, es la tecnología de comunicación LoRa, la cual se utiliza por su baja tasa de emisión de datos y su optimización de recursos mediante el Internet de las cosas (IoT), uso de data centers y movilidad [7]. Durante un estudio de la red LoRaWAN en el sector productivo ganadero, el productor verifica la geocalización de las unidades vacunas, las rutas de pastoreo de su ganado en tiempo real, así como la trazabilidad de las enfermedades. Este trabajo aporta con la elaboración de un prototipo de análisis sobre la tecnología LoRa con el uso de GPS y del Sistema en Chip (SoC) ESP32 bajo la programación en Arduino. Se utiliza una revisión sistemática mediante un mapeo sistemático con la finalidad de obtener información relacionada al tema [8]. Un estudio realizado por la Universidad de Azuay (Cuenca, Ecuador) sobre el análisis experimental de la movilidad de un terminal utilizando el protocolo LoRa, durante su desarrollo, obtuvo las mediciones y el estudio en redes de largo y corto alcance a bajas potencias [9]. Durante la medición se utilizó dos nodos, uno fijo y otro móvil para entender el comportamiento de velocidad de datos transmisión-recepción, con el protocolo Lora, determinando el alcance y el nivel de potencia en función al número de muestras y pruebas implementando la capa de LoRaWAN [10][11]. La factibilidad de una implementación en sector ganadero, tomando como consideración una red de largo alcance e infraestructura necesaria permite lograr accesibilidad a sensores y dispositivos necesarios brinden un punto de inicio para un futuro emprendimiento [12][13].

¹ Sitio web en <https://www.agricultura.gob.ec/>

2 Metodología

Se utiliza inicialmente el método de mapeo sistemático, que permite el conocimiento realizar un análisis de trabajos previos y reconocer temas similares en el área de estudio. Se procede a realizar una clasificación de los hallazgos y determinar la frecuencia de las publicaciones dentro de cada categoría estableciendo diversas áreas del tema de investigación. Se ha dividido en tres fases, Conocimientos previos, Etapa de preparación y Etapa de elaboración.

2.1 Conocimientos previos

Situación de la oferta ganadera en el Ecuador.

La ganadería en el Ecuador ha sido una actividad desarrollada prácticamente en todo el país, requerida como un renglón socioeconómico de gran relevancia para el crecimiento del campo ecuatoriano. No obstante, la ganadería pasa por ciertos contratiempos que se debe de considerar como las pérdidas de cabeza de ganado por varias causas como son: ganado vacuno sacrificadas en el terreno, por muerte y perdidas por otras causas. En la siguiente Tabla 1 se muestra la cantidad de ganado vacuno perdido en las tres regiones de acuerdo a la muestra de datos proporcionado por parte del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC 2019 [14].

Table 1. Datos estadísticos del INEC 2019

Región	Cantidad de Ganado vacuno sacrificadas en la región	Ganado vacuno por muerte	Ganado vacuno perdidas por otras causas
Región Costa	11730	73830	11632
Región Sierra	24792	28301	9923
Región Amazónica	1183	11975	1058
Total, Nacional	37705	114106	22613

Estos datos son representados en porcentajes (ver Fig. 1), se muestra que en la región Costa, el valor más alto de porcentaje correspondiente al 66% en por pérdida del ganado vacuno sacrificado en el terreno, en la región Sierra, el valor más alto de porcentaje corresponde al 65% en pérdida del ganado vacuno por muerte y en la misma región Sierra, el valor más alto de porcentaje corresponde al 51% en pérdida del ganado vacuno por otras causas.



Fig. 1. Pérdida de cabeza de Ganado vacuno en Ecuador

Modelo de comunicación para el sector ganadera.

Se presenta un esquema de gestión la comunicación desde el sensor GPS hacia el teléfono móvil, transportando la información hasta llegar al cliente. Se establece una conexión entre el módulo GPS y el satélite, la cual es transmitida por medio de un enlace inalámbrico hacia una antena receptora implementada con tecnología del protocolo LoRa, que es dirigida mediante la estructura de una red *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) con destino al internet; esta información es almacenada en un servidor de datos. La representación de datos se adapta a las necesidades que requiere el cliente. Se demuestra el modelo de comunicación en Fig. 2.

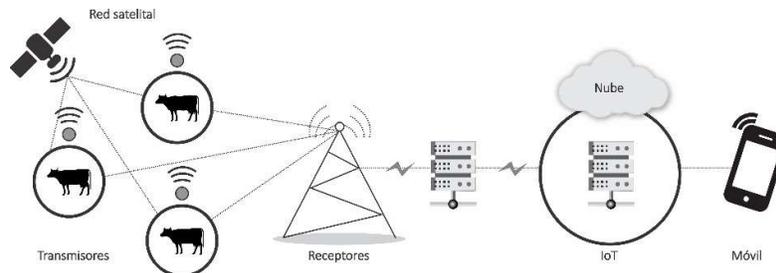


Fig. 2. Modelo de comunicación para el sector ganadero

Comparación de tecnología LoRa y SIGFOX.

La tecnología Sigfox utiliza una banda ultra estrecha y tiene como método de transmisión llamado BPSK, que es una codificación por desplazamiento de fase. Lo que permite en el funcionamiento del receptor obtenga los datos de una mínima porción del espectro lo que cancela el efecto del ruido, y como característica adicional su funcionamiento es bidireccional con ciertos requerimientos por parte del receptor y transmisor para que puedan operar en este modo de manera eficiente [15]. La tecnología LoRa utiliza una modulación mediante chirridos y LoRaWAN es un protocolo el cual utiliza la capa MAC de los equipos, más ancho de banda y la ganancia de la codificación para

incrementar la sensibilidad del dispositivo receptor y disminuyendo el ruido durante la comunicación [16]. LoRaWAN utiliza más cantidad de espectro que Sigfox, obteniendo mayor interferencia, sin embargo, debido a las características de codificación mitigan el ruido haciendo que los enlaces realizados por ambas tecnologías son muy similares.

Enlaces Inalámbricos.

Para nuestra forma de comunicarnos inalámbricamente contamos con varios tipos de topologías o escenarios. Es el escenario que nos permite intercomunicar entre dos áreas o nodos, por medio de un canal de datos [17]. Es el escenario que tiene como objetivo fundamental de intercomunicar de un nodo principal a varios nodos o estaciones bases asignados, por varios canales de datos [18].

En el modelo que se presenta en este trabajo se requiere de un enlace inalámbrico punto a multipunto (PMTP) en el sector ganado del Ecuador, debido a su eficiencia en la calidad de servicio, mayor ancho de banda comparado con enlace inalámbrico punto a punto (PTP) y tiene un alcance aproximado de conexión 20 km. Un Sistema de comunicación tanto transmisor como receptor realizado con dispositivos LoRa es relativamente más económico que un sistema utilizando dispositivos Sigfox. Esto se debe a que la tecnología LoRa utiliza la misma banda de radio tanto para la estación base como en el punto final.

2.2 Etapa de preparación

Por medio de esta etapa se detallan las distintas actividades que están contempladas en la etapa de la preparación

Interrogantes de investigación.

Se examinan los objetivos, a través de revisiones de trabajos científicos que contengan relación al tema “Protocolo LoRa para el análisis de medición con GPS y Arduino en la industria ganadera del Ecuador”. El propósito es identificar temas relacionados a las insuficiencias tecnológicas que existen y exponen los nuevos sectores de investigación; de tal manera que se han establecido las siguientes interrogantes de investigación definidas en la Tabla 2.

Table 2. Interrogantes con respecto a la tecnología LoRa

Interrogante	Razón
Q1. ¿Qué tipo de protocolos comunicación son utilizados en medición digital?	Determinar la comunicación y la demanda de servicio por medio de la tecnología LoRa.
Q2. ¿Qué tipo tecnología es usada para el procesamiento de datos?	Determinar eficiencia en la comunicación para modelo y el sistema digital.
Q3. ¿Qué tipos de tecnología trabajan en conjunto con GPS en el sector ganadero?	Determinar una mayor variedad de implementación con respecto a las tecnologías que se pueden implementar en ámbito ganadero.

Plan de búsqueda.

Para poner en funcionamiento la búsqueda automatizada del mapeo sistemático, se emplean las siguientes bases de datos: IEEEExplore, Scopus y Springer. Mediante las cuales se ingresan la selección de búsqueda (ver Tabla 3).

En la selección de búsqueda se segmenta en varias partes, que representan la comunicación a nivel de protocolos, el procesamiento de datos, las diversas tecnologías combinada con el GPS y los tipos de sensores que son empleados con la tecnología LoRa.

Table 3. Selección de búsqueda

Concepto	Sinónimos y elección alternativa	
Protocolos comunicación con medición digital	Communication protocols with digital measurement	AND
Tecnología de procesamiento de datos	Data processing technology	
Tecnología combinada con GPS	Technology combined with GPS	
Sensores con tecnología LORA	Sensors with LORA technology	

La búsqueda se evalúa en base al título, abstract, keywords y conclusiones; a su vez se ha considerado analizar los estudios comprendidos entre los años 2016 a 2020, debido a que la tecnología LoRa en el ámbito científico es aún novel. A su vez se ha considerado el período de tiempo a lo largo del desarrollo del mapeo sistemático.

Pautas de selección de Preparación Primaria.

A través de los estudios reunidos por medio la búsqueda automatizada, se toma en consideración el entorno al título, abstract, keywords y conclusiones, con el objetivo de analizar si los estudios cumplen con los siguientes criterios de inclusión detallados a continuación:

- 1IC: Los estudios deben estar publicados entre los años 2015 y 2020 por medio de revelaciones científicas como son: revistas académicas o científicas, congresos de influencia con revisión por pares, libros y conferencias científicas.
- 2IC: En los estudios potenciales que se analicen se toman en consideración que contengan DOI (Digital Object Identifier) y el ISBN (International Standard Book Number).
- 3IC: Los estudios deben estar en idioma preferible inglés.
- 4IC: Los estudios deben ser los más recientes y completos dentro de los años segmentados
- 5IC: Los estudios deben estar relacionados con la selección de búsqueda.

A su vez, se evita que los estudios que obedezcan con algunos de los siguientes criterios de exclusión:

- 1EC: Los estudios no están publicados entre los años 2015 y 2020.
- 2EC: Los estudios potenciales que se analicen no cuentan con el DOI o ISBN.
- 3EC: Los estudios no están en idioma inglés.

- 4EC: Los estudios no son más reciente y completo.
- 5EC: Los estudios no está relacionado con la selección de búsqueda.

Evaluación de calidad.

Para poder obtener los mejores resultados en cualquier estudio que se desea implementar y en futuras investigaciones, se debe de determinar la calidad del estudio para decidir cuál es el más representativo e importante. De tal manera, que se estableció unos parámetros de puntuación de tres valores (-1, 0 y 1), que se utilizará en los siguientes enunciados:

- a) La publicación o el estudio contiene información referente al protocolo LoRa y sus sensores de transmisión. Diversas respuestas Las posibles respuestas son: “Sí” (+1), “Parcialmente” (0) y “No” (-1).
- b) La publicación o el estudio cuenta con una de las características para la aplicación del protocolo LoRa y sus sensores, diversas respuestas, las posibles respuestas son: “Muy importante” (+1), “poco importante” (0) y “No es importante” (-1).
- c) La publicación o el estudio cuenta con alguna implementación real con respecto al protocolo LoRa y sus sensores. Las posibles respuestas son: “Muy importante” (+1), “poco importante” (0) y “No es importante” (-1).
- d) La publicación o el estudio se ha publicado en algún congreso o revista científica. Las posibles respuestas son: “Sí” (+1), “Parcialmente” (0) y “No” (-1).
- e) La publicación o el estudio cuenta con alguna citación de otros autores que estén reflejado en revistas científicas o congresos académicos. Las posibles respuestas son: “Sí” (+1), “Parcialmente” (0) y “No” (-1).

Táctica de Obtención de Datos.

Por medio de este proceso de táctica para la obtención de datos, se ha asignado múltiples respuestas (como se demuestra Tabla 4) con la finalidad de organizar todos los datos del estudio.

Table 4. Adquisición de Resultados orientado a la ganadería inteligente

Interrogante	Razón	
Q1. ¿Qué tipo de protocolos comunicación son utilizados en medición digital?	a) UART	b) SPI
	c) I2C	d) 1-Wire
Q2. ¿Qué tipo tecnología es usada para el procesamiento de datos?	a) 8 bits	b) 16 bits
	c) 32 bits	d) 64 bits
Q3. ¿Qué tipos de tecnología trabajan en conjunto con GPS en el sector ganadero?	a) Lora	b) Sigfox
	c) Zigbee	d) NB-IoT

Criterios Cuantitativo y Cualitativo.

El criterio cuantitativo de las pautas de selección para la preparación primaria es apoyado en la exhibición de tablas o gráficos del número de porcentaje sobre los estudios obtenidos conforme a las respuestas en las preguntas de selección de búsqueda.

Por otra parte, se aplica el criterio cualitativo de las pautas de selección para la preparación primaria, apoyado en la exhibición de las tablas o gráficos en relación de los resultados de valoración de calidad aplicada.

Período de elaboración del mapeo sistemático.

El desarrollo del mapeo sistemático tuvo su comienzo en el mes de noviembre del 2020 y su conclusión en diciembre del 2020.

2.3 Fase de elaboración

Se pone en funcionamiento la estructura por medio de tres sub-fases que son:

- En el proceso del plan de búsqueda mediante el mapeo sistemático se tomó las siguientes bases de datos como IEEEExplore, Scopus y Springer. Se obtuvo los siguientes resultados que se demuestra en la Tabla 5. Debido a la cual se muestra que la idea principal del artículo en IEEEExplore 1618 publicaciones, SCOPUS 1491 publicaciones y SPRINGER 2515 publicaciones.
- Se procede a realizar una nueva indagación de información, aplicando al plan de búsqueda tomando como base a la idea principal del artículo académico. Obteniendo como resultado IEEEExplore 73 publicaciones, SCOPUS 119 Y SPRINGER 209 publicaciones.
- Se aplicaron los parámetros de evaluación de calidad en cada estudio para poder clasificar las publicaciones según los resultados. Y se obtuvo IEEEExplore 15 publicaciones, SCOPUS 19 publicaciones y SPRINGER 25 publicaciones

Table 5. Cuadro de publicaciones potenciales

	IEEE	SCOPUS	SPRINGER
Idea principal del Artículo académico.	1618	1491	2515
Criterio de búsqueda aplicado abstract y keywords	73	119	209
Criterio de evaluación de calidad.	15	19	25

3 Resultados y discusión

Se muestran los resultados para cada una de las interrogantes. Para la interrogante Q1.

- A. **Interrogante Q1.** ¿Qué tipo de protocolos de comunicación son utilizados en medición digital?

Como se puede observar en gráfico de la Fig. 3, se demuestra la resolución realizada bajo el concepto interrogante Q1: ¿Qué tipo de protocolos de comunicación son

utilizados en medición digital? , que se realizaron mediante la revisión sistemática, por ende, contiene varias respuestas tales como UART, SPI, I2C y 1-WIRE.

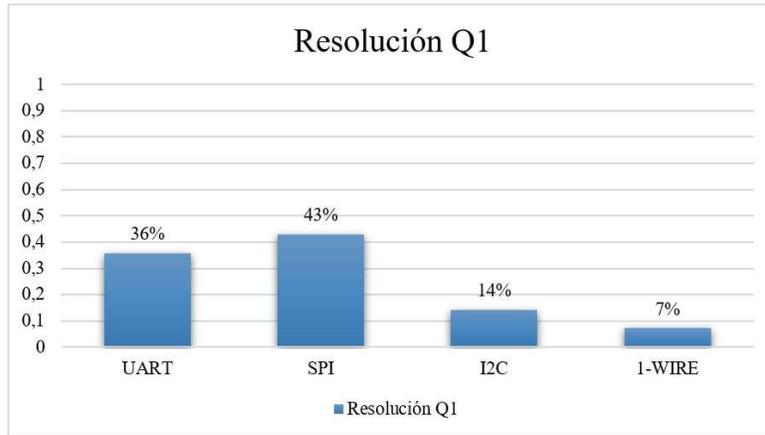


Fig. 3. Resolución del porcentaje de respuesta de la pregunta Q1

Podemos denotar que los protocolos de comunicación digital más usados son SPI y el UART, que sobresalen en más de la mitad de los estudios (79%) por su versatilidad de comunicación relacionado a sus características entre las cuales tenemos: mayor alcance, mayor obtención de datos, altas velocidades de comunicación. De esto depende el objetivo a alcanzar en cada proyecto o artículo científico. En la siguiente tabla 6, se demuestra las citas relacionada a la gráfica de los resultados.

Table 6. Referencias con respecto interrogante Q1

	Revistas Científicas
UART	[19], [20],[21], [22]
SPI	[23], [24], [25], [26], [27]
I2C	[28], [29]
1-WIRE	[30]

Por otra parte, debemos tomar en cuenta que la respuesta de 1-WIRE refleja 7%, debido que se aplica a los parámetros de calidad, por ende, se descarta una gran parte de documentación. A su vez, encontramos información del protocolo 1-WIRE en repositorios de universidades, proyectos de grados y proyectos de implementación [31], [32].

B. Interrogante Q2. ¿Qué tipo tecnología es usada para el procesamiento de datos?

Como se puede contemplar en gráfico de la Fig. 4, relacionado a la interrogante Q2: ¿Qué tipo tecnología es usada para el procesamiento de datos?, se analizaron los diversos resultados mediante el mapeo sistemático utilizando los distintos repositorios digitales de revistas científicas.

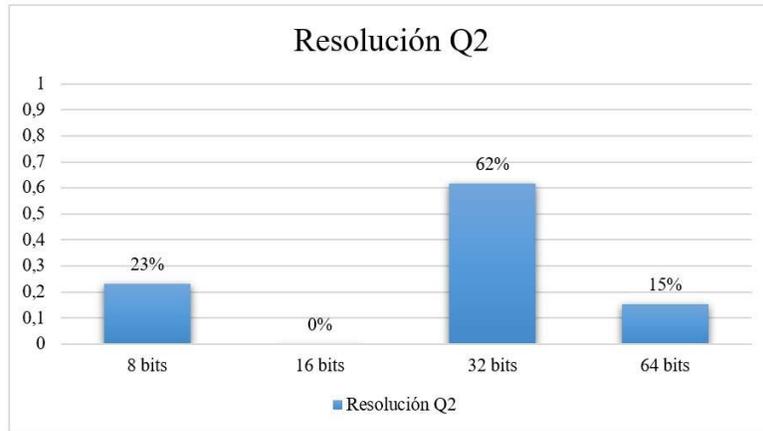


Fig. 4. Resolución del porcentaje de respuesta de la pregunta Q2

Podemos resaltar que para la implementación de micro-controladores se utilizan comúnmente los de 32 bits, el cual abarca el 62% de los estudios, debido a la velocidad de procesamiento de datos, adaptabilidad de integrar varios sensores ya sean analógicos como digitales y a su vez maneja potencia ultra bajas y baja que proporcionan un mayor rendimiento de consumo energía. En la siguiente tabla 7, se demuestra las citas relacionada a la gráfica de los resultados.

Table 7. Referencia con respecto interrogante Q2

	Revistas Científicas
8 bits	[33], [34], [35]
32 bits	[36], [37], [38], [39], [40]
64 bits	[33], [41]

Por otra parte, podemos constatar que los microcontroladores 16 bits es 0% que se relacione con la tecnología LoRa por medio los repositorios de las revistas científicas.

C. Interrogante Q3. ¿Qué tipos de tecnología trabajan en conjunto con GPS en el sector ganadero?

Como podemos constatar en la gráfica de la Fig. 5 con respecto a la interrogante Q3: ¿Qué tipos de tecnología trabajan en conjunto con GPS en el sector ganadero?, las

tecnologías que más se usan son LoRa y ZIGBEE, debido a que abarcan el 83% de los estudios analizados por medio de la revisión sistemática. Este porcentaje se refleja en el entorno que ha sido implementado, es decir, que la tecnología ZIGBEE se usa en un entorno de no más de 200 metros en relación con la tecnología LoRa que maneja una distancia de 5 a 10 km.

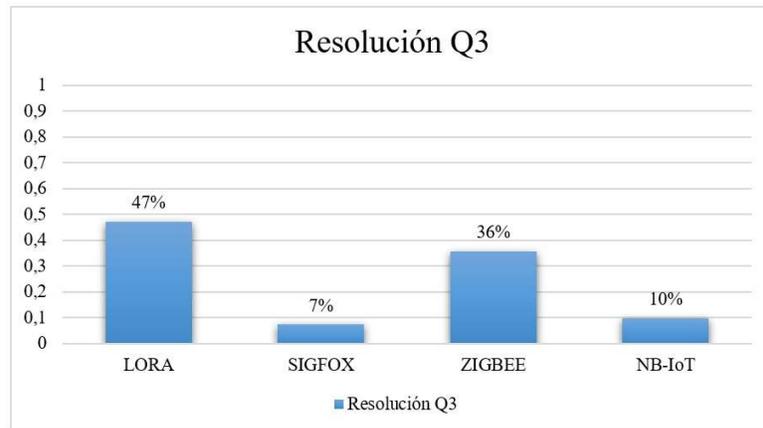


Fig. 5. Resolución del porcentaje de respuesta de la pregunta Q3

Por otro lado, el 17% restante se comparte entre las tecnologías SIGFOX y NB-IOT, ya que deben de optar por un servicio completo para el mantenimiento y uso de una infraestructura privada, a través de un proveedor que proporcione el servicio, esto incluirá un costo adicional en el rubro del proyecto científico. A continuación, se presenta la tabla 8 donde se encuentran las referencias que se relacionan a la figura 5.

Table 8. Referencia con respecto interrogante Q3.

	Revistas Científicas
LoRa	[42], [43], [44], [45],
Sigfox	[46], [46], [47]
Zigbee	[48], [49], [50], [51], [52], [53], [54], [55], [56]
NB-IoT	[57], [58], [59], [60], [61]

Factor de resultados sistemáticos.

Se establecen los siguientes factores:

- Se pueden utilizar distintos tipos de protocolos de comunicación digital, esto dependerá del sensor que se vaya a utilizar. A su vez, aplica a la tarjeta madre que soporte

el protocolo de comunicación digital, los más usados son UART y SPI; de acuerdo con el análisis realizado mediante el mapeo sistemático.

- Según el análisis de diversos artículos científicos podemos constatar, que se utiliza el microcontrolador sea de 8, 16, 32 y 64 bits conforme al grado de complejibilidad que tenga el proyecto científico. Debido a que se puede implementar una variedad de microcontroladores como: ESP32, Arduino, Netduino, Pocketbeagle, Waspnote y así una infinidad de dispositivos que pueden abarcar múltiples funcionalidades.
- Según con los resultados podemos corroborar que la tecnología LoRa su implementación es más versátil en zonas de difícil acceso como son: agricultura, ganadería y zonas montañosas, en cambio con SIGBEE son muy versátiles en zonas pequeñas y cuenta con un bajo nivel de radiación y que es utilizador en el sector médico como los hospitales o centro de salud. Además, la implementación de ambas tecnologías es muy popular por sistema de sensores distribuidos.

4 Conclusiones

El estudio que se ha realizado mediante la revisión sistemática de varios artículos, conferencias, revistas, tesis y libros científicos consolida los conocimientos del estudio antes mencionado. Para el sector ganadero del Ecuador, es de gran utilidad implementar la infraestructura con la tecnología LoRa, debido a que sus enlaces inalámbricos punto a multipunto, son muy útiles al momento de abarcar grandes distancias de difícil acceso, reduce el tiempo de instalación y a su vez favorece a los escenarios que necesitan la flexibilidad de la movilidad mediante los sensores como GPS. Esto también permite reducir el costo y ser menos invasivo con el medio ambiente. Al momento de implementar la tecnología LoRa o sus módulos en un diseño, se puede determinar que cuenta con la cobertura necesaria, para ofrecer una red en el sector ganadero implementando los sensores de GPS, temperatura, humedad y demás.

Podemos constatar que varios estudios que se analizaron con respecto a diversas tecnologías como LoRa, SIGFOX, SIGBEE e NB-IOT, cuentan con una gran variedad de implementaciones en distintas áreas y con diversos sensores, tales como: la medicina, transporte público, agricultura, ganadería y, en una infinidad de campos donde se pueda implementar la tecnología IoT. Tomando como referencia diversos trabajos científicos se describen las distintas aplicaciones que puede tener el IoT en la agricultura. Además, la implementación de IOT en la ganadería solventa las distintas necesidades que tienen los ganaderos de Ecuador.

Además, se evidencia un modelo de gestión de medición digital, mediante los protocolos de comunicación más usados, UART y SPI, de esto depende el tipo de sensor que se vaya a implementar como GPS, humedad, proximidad, temperatura entre aquellos que se pueden utilizar en el sector ganadero. A su vez está relacionado con qué tipo de microcontrolador se vaya a implementar, si es de 32 o 64 bits.

Por lo consiguiente, se puede gestionar el diseño de un prototipo de medición digital, en base de un sistema de chip (SoC) relacionado al ESP32, que sostiene una compatibilidad con la tecnología LoRa, a su vez soporta protocolos de comunicación digital (UART y SPI), y cuenta con una arquitectura de procesamiento de datos de 32 bits, la

cual abarca sensores digitales y analógicos, que es perfecto para la implementación en el sector ganadero del Ecuador. Mediante este prototipo nos ayuda a obtener datos y por medio de un análisis, que resultan en la creación de un producto final con diversas funcionalidades que cumplen con las expectativas del usuario.

De igual forma, conseguir los objetivos que permitan satisfacer aquellas necesidades que los ganaderos del Ecuador requieren, mediante la curva de aprendizaje sobre los problemas o dificultades que surjan a la hora de implementar el prototipo para generar un producto final con la medición digital con respecto al GPS y programación en Arduino para la industria ganadera del Ecuador.

References

- [1] MAG, “MAG, CNT y Agrocalidad analizan sistemas tecnológicos para evitar abigeato – Ministerio de Agricultura y Ganadería,” *Ministerio de Agricultura y Ganadería*, 2018. <https://www.agricultura.gob.ec/mag-cnt-y-agrocalidad-analizan-sistemas-tecnologicos-para-evitar-abigeato/> (accessed Jan. 10, 2021).
- [2] MAG, “Acciones para solucionar problemas del sector lechero – Ministerio de Agricultura y Ganadería,” *Ministerio de Agricultura y Ganadería*, 2020. <https://www.agricultura.gob.ec/mag-presenta-acciones-para-solucionar-problemas-del-sector-lechero/> (accessed Jan. 10, 2021).
- [3] J. Llerena, A. Mendez, and F. Sanchez, “Analysis of the Factors that Condition the Implementation of a Backhaul Transport Network in a Wireless ISP in an Unlicensed 5 GHz Band, in the Los Tubos Sector of the Durán Canton,” in *2019 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS)*, 2019, pp. 15–22, doi: 10.1109/INCISCOS49368.2019.00012.
- [4] Greenpeace, “La peligrosa intensificación de la ganadería en Europa #NoMásMacrogranjas - ES | Greenpeace España,” *Greenpeace*, 2019. <https://es.greenpeace.org/es/noticias/la-peligrosa-intensificacion-de-la-ganaderia-en-europa-nomasmacrogranjas/> (accessed Jan. 10, 2021).
- [5] R-CALF USA, “Fighting for the U.S. Independent Cattle Producer - R-CALF USA,” *R-CALF CONVENTION*, 2020. <https://www.r-calfusa.com/> (accessed Jan. 10, 2021).
- [6] D. Pérez and R. Risc, “Implementación de Lora y Lorawan como escenario futuro de la industrias 4.0 en el sector agroindustrial peruano,” *Campus*, vol. 25, no. 29, pp. 133–147, 2019, doi: 10.24265/campus.2019.v25n29.10.
- [7] SemTech, “Analog and Mixed-Signal Semiconductors | Semtech,” 2020. <https://www.semtech.com/> (accessed Jan. 10, 2021).
- [8] J. D. Patón-Romero and M. Piattini, “Green IT maturity models: A systematic mapping study,” in *2017 12th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2017, pp. 1–6, doi: 10.23919/CISTI.2017.7975693.
- [9] C. Heredia, “Análisis Experimental de la Movilidad de un Terminal Utilizando el Protocolo LoRa,” 2019.
- [10] LoRa Alliance, “Home page | LoRa Alliance®,” *LoRa Alliance*, 2020. <https://lora-alliance.org/> (accessed Jan. 10, 2021).

- [11] N. Podevijn *et al.*, “Compass Aided TDoA Tracking in LoRaWAN networks,” in *2020 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium, PLANS 2020*, 2020, pp. 1420–1424, doi: 10.1109/PLANS46316.2020.9110210.
- [12] F. J. Candido, R. Flores, and P. Forcadilla, “Haversine method and lora for monitoring entry of fishing vessel in marine protected areas,” in *2019 7th International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2019*, 2019, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICoICT.2019.8835243.
- [13] Y. Jia, “LoRa-Based WSNs Construction and Low-Power Data Collection Strategy for Wetland Environmental Monitoring,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 114, no. 2, pp. 1533–1555, Sep. 2020, doi: 10.1007/s11277-020-07437-5.
- [14] INEC, “Estadísticas Agropecuarias.” Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2020, Accessed: 06-Dec-2020. [Online]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>.
- [15] SigFox, “Technology | Sigfox.” 2020, Accessed: 06-Dec-2020. [Online]. Available: <https://www.sigfox.com/en/what-sigfox/technology>.
- [16] M. L. Machado González, “Estudio de NB-IoT y comparativa con otras tecnologías LPWAN,” 2019, [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10609/87205>.
- [17] D. Carolina and C. Ortiz, “DESARROLLO DE UNA RED PUNTO A PUNTO CON TECNOLOGÍA LORA Y SERVIDOR WEB,” Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Electrónica, Bogotá, Oct. 2020. [Online]. Available: <https://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/20540>.
- [18] M. S. Tanaka, Y. Miyanishi, M. Toyota, T. Murakami, R. Hirazakura, and T. Itou, “A study of bus location system using LoRa: Bus location system for community bus ‘Notty,’” in *2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, 2017, vol. 2017-Janua, no. Gcce, pp. 1–4, doi: 10.1109/GCCE.2017.8229279.
- [19] M. Zarzosa, D. Auccapuri, and J. Paco, “Design and development of a multi-protocol and multi-function Datalogger for measuring hydric balance in a forest environment,” pp. 1–4, 2020, doi: 10.1109/eircon51178.2020.9254022.
- [20] L. R. Cenkeramaddi, A. Goyal, A. Bhuria, M. B. Srinivas, and J. Soumya, “Design of software and data analytics for self-powered wireless IoT devices,” *Proc. - 2018 IEEE 4th Int. Symp. Smart Electron. Syst. iSES 2018*, pp. 118–123, 2018, doi: 10.1109/iSES.2018.00034.
- [21] Y. S. Chou *et al.*, “I-Car system: A LoRa-based low power wide area networks vehicle diagnostic system for driving safety,” *Proc. 2017 IEEE Int. Conf. Appl. Syst. Innov. Mod. Technol. ICASI 2017*, pp. 789–791, 2017, doi: 10.1109/ICASI.2017.7988549.
- [22] S. Geetha and S. Gouthami, “Internet of things enabled real time water quality monitoring system,” *Smart Water*, vol. 2, no. 1, pp. 1–19, 2016, doi: 10.1186/s40713-017-0005-y.
- [23] N. A. Azmi Ali and N. A. Abdul Latiff, “Environmental Monitoring System Based on LoRa Technology in Island,” *Proc. - 2019 IEEE Int. Conf. Signals Syst. ICSigSys 2019*, pp. 160–166, 2019, doi:

- 10.1109/ICSIGSYS.2019.8811066.
- [24] F. Wu, C. Rudiger, J. M. Redoute, and M. R. Yuce, "WE-Safe: A wearable IoT sensor node for safety applications via LoRa," *IEEE World Forum Internet Things, WF-IoT 2018 - Proc.*, vol. 2018-Janua, pp. 144–148, 2018, doi: 10.1109/WF-IoT.2018.8355234.
- [25] N. P. Manchev, K. K. Angelov, P. G. Kogias, and S. M. Sadinov, "Development of Multichannel LoRaWAN Gateway for Educational Applications in Low-Power Wireless Communications," *2019 28th Int. Sci. Conf. Electron. 2019 - Proc.*, pp. 6–9, 2019, doi: 10.1109/ET.2019.8878492.
- [26] N. A. A. Ali, N. A. A. Latiff, and I. S. Ismail, "Performance of LoRa network for environmental monitoring system in Bidong island Terengganu, Malaysia," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 10, no. 11, pp. 1–8, 2019.
- [27] D. Taskin and S. Yazar, "A Long-range context-aware platform design for rural monitoring with IoT In precision agriculture," *Int. J. Comput. Commun. Control*, vol. 15, no. 2, pp. 1–11, 2020, doi: 10.15837/IJCCC.2020.2.3821.
- [28] F. Merabet, A. Cherif, M. Belkadi, O. Blazy, E. Conchon, and D. Sauveron, "New efficient M2C and M2M mutual authentication protocols for IoT-based healthcare applications," *Peer-to-Peer Netw. Appl.*, vol. 13, no. 2, pp. 439–474, 2020, doi: 10.1007/s12083-019-00782-8.
- [29] G. Gardašević *et al.*, "The IoT Architectural Framework, Design Issues and Application Domains," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 92, no. 1, pp. 127–148, 2017, doi: 10.1007/s11277-016-3842-3.
- [30] C. Bouras, A. Gkamas, V. Kokkinos, and N. Papachristos, "Using LoRa technology for IoT monitoring systems," *Proc. 2019 10th Int. Conf. Networks Futur. NoF 2019*, pp. 134–137, 2019, doi: 10.1109/NoF47743.2019.9014994.
- [31] K. Zec and S. Hansson, "Home Care Logistics: A Monitoring System with a Communication Unit for the Elderly," 2019.
- [32] J. M. Paredes-Parra, A. J. García-Sánchez, A. Mateo-Aroca, and Á. Molina-García, "An alternative internet-of-things solution based on Lora for PV power plants: Data monitoring and management," *Energies*, vol. 12, no. 5, 2019, doi: 10.3390/en12050881.
- [33] A. Peraza *et al.*, "A LoRa-based Dual-CPU Core Salton Sea Environmental Monitoring Wireless Sensor System," *2020 IEEE Conf. Technol. Sustain. SusTech 2020*, pp. 36–39, 2020, doi: 10.1109/SusTech47890.2020.9150522.
- [34] A. E. Ferreira, F. M. Ortiz, L. H. M. K. Costa, B. Foubert, I. Amadou, and N. Mitton, "A study of the LoRa signal propagation in forest, urban, and suburban environments," *Ann. des Telecommun. Telecommun.*, vol. 75, no. 7–8, pp. 333–351, 2020, doi: 10.1007/s12243-020-00789-w.
- [35] V. Rakovic, R. Adamovski, A. Risteski, and L. Gavrilovska, "Improving Energy Efficiency and Reliability in WuR-Based IoT Systems: An Error Correction Approach," *Wirel. Pers. Commun.*, no. 0123456789, 2020, doi: 10.1007/s11277-020-07464-2.
- [36] P. Gao, Z. Li, F. Li, H. Li, Z. Yang, and W. Zhou, "Design of Distributed Three Component Seismic Data Acquisition System Based on LoRa Wireless Communication Technology," *Chinese Control Conf. CCC*, vol. 2018-July, pp.

- 10285–10288, 2018, doi: 10.23919/ChiCC.2018.8483229.
- [37] N. Shah and S. Sundar, “Smart Electric Meter Using LoRA Protocols and lot applications,” *Proc. 2nd Int. Conf. Electron. Commun. Aerosp. Technol. ICECA 2018*, no. Iceca, pp. 1178–1180, 2018, doi: 10.1109/ICECA.2018.8474749.
- [38] M. Mirza, Y. A. Ahmad, and T. S. Gunawan, “Low altitude balloon IoT tracker,” in *2017 IEEE International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications, ICSIMA 2017*, 2018, vol. 2017-Novem, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICSIMA.2017.8311976.
- [39] D. Eridani, E. D. Widiyanto, R. D. O. Augustinus, and A. A. Faizal, “Monitoring System in Lora Network Architecture using Smart Gateway in Simple LoRa Protocol,” *2019 2nd Int. Semin. Res. Inf. Technol. Intell. Syst. ISRITI 2019*, pp. 200–204, 2019, doi: 10.1109/ISRITI48646.2019.9034612.
- [40] Q. Chen, C. Xiao, Y. Wen, C. Zhou, and F. Zhang, “Design of automatic identification system for enclosed waters based on LoRa,” *ICTIS 2019 - 5th Int. Conf. Transp. Inf. Saf.*, pp. 39–44, 2019, doi: 10.1109/ICTIS.2019.8883708.
- [41] J. Al Qundus, K. Dabbour, S. Gupta, R. Meissonier, and A. Paschke, “Wireless sensor network for AI-based flood disaster detection,” *Ann. Oper. Res.*, no. 0123456789, 2020, doi: 10.1007/s10479-020-03754-x.
- [42] J. Trogh *et al.*, “Outdoor location tracking of mobile devices in cellular networks,” *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2019, no. 1, 2019, doi: 10.1186/s13638-019-1459-4.
- [43] A. M. C. Drăgulinescu, A. F. Manea, O. Fratu, and A. Drăgulinescu, “LoRa-Based Medical IoT System Architecture and Testbed,” *Wirel. Pers. Commun.*, no. 0123456789, 2020, doi: 10.1007/s11277-020-07235-z.
- [44] S. A. R. Naqvi, S. A. Hassan, and F. Hussain, “IoT Applications and Business Models,” pp. 45–61, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-55405-1_4.
- [45] W. San-Um, P. Lekbunyasini, M. Kodyoo, W. Wongsuwan, J. Makfak, and J. Kerd Sri, “A long-range low-power wireless sensor network based on U-LoRa technology for tactical troops tracking systems,” in *Proceedings - ACDT 2017: 3rd Asian Conference on Defence Technology: Advance Research Collaboration on Defence Technology*, 2017, pp. 32–35, doi: 10.1109/ACDT.2017.7886152.
- [46] A. Vazquez-Rodas, F. Astudillo-Salinas, C. Sanchez, B. Arpi, and L. I. Minchala, “Experimental evaluation of RSSI-based positioning system with low-cost LoRa devices,” *Ad Hoc Networks*, vol. 105, 2020, doi: 10.1016/j.adhoc.2020.102168.
- [47] R. Fernández-García and I. Gil, “An alternative wearable tracking system based on a low-power wide-area network,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 3, 2017, doi: 10.3390/s17030592.
- [48] T. T. Khanh, V. D. Nguyen, X. Q. Pham, and E. N. Huh, “Wi-Fi indoor positioning and navigation: a cloudlet-based cloud computing approach,” *Human-centric Comput. Inf. Sci.*, vol. 10, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s13673-020-00236-8.
- [49] X. Fan *et al.*, “Deep learning for intelligent traffic sensing and prediction:

- recent advances and future challenges,” *CCF Trans. Pervasive Comput. Interact.*, vol. 2, no. 4, pp. 240–260, 2020, doi: 10.1007/s42486-020-00039-x.
- [50] K. Wang, H. Li, and H. Guo, *Research on positioning accuracy of indoor and outdoor pedestrian seamless navigation*, vol. 327 LNICST. Springer International Publishing, 2020.
- [51] J. Silva, N. Varela, E. G. Alemán, and O. B. P. Lezama, *Management system for optimizing public transport networks: Gps record*, vol. 1235 CCIS. Springer Singapore, 2020.
- [52] B. Ç. Uslu, E. Okay, and E. Dursun, “Analysis of factors affecting IoT-based smart hospital design,” *J. Cloud Comput.*, vol. 9, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s13677-020-00215-5.
- [53] K. S. Ravi, K. Jaya Bhavani, M. Vinayak, and G. Soundarya, “Identification of misplaced objects,” *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 9, no. 17, pp. 10–13, 2016, doi: 10.17485/ijst/2016/v9i17/92991.
- [54] J. Bian, X. Yu, and W. Du, “Design of intelligent public transportation system based on ZigBee technology,” *Int. J. Performability Eng.*, vol. 14, no. 3, pp. 483–492, 2018, doi: 10.23940/ijpe.18.03.p9.483492.
- [55] M. Prakash, K. Nandhini, K. Narmatha, S. V Swetha, and J. Srikanth, “An effective method for preventing chain from snatching,” *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 130–132, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i1.3.9844.
- [56] R. C. Gustilo, J. R. A. Danting, L. P. M. De Vera, B. J. Ramos, and L. Villanueva, “Design of multi-purpose heavy-duty scanning robot with spray mechanism,” *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 3, pp. 561–566, 2019, doi: 10.30534/ijatcse/2019/35832019.
- [57] Z. Cai, M. Liang, and Q. Sun, “MMIR: a microscopic mechanism for street selection based on intersection records in urban VANET routing,” *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2019, no. 1, 2019, doi: 10.1186/s13638-019-1475-4.
- [58] J. Wan *et al.*, “Wearable IoT enabled real-time health monitoring system,” *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2018, no. 1, 2018, doi: 10.1186/s13638-018-1308-x.
- [59] I. W. K. Bima, V. Suryani, and A. A. Wardana, “Narrowband-IoT network for asset tracking system,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 830, no. 2, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/830/2/022087.
- [60] F. Maroto-Molina *et al.*, “A low-cost IOT-based system to monitor the location of a whole herd,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 10, 2019, doi: 10.3390/s19102298.
- [61] K. Lova Raju and V. Vijayaraghavan, *IoT Technologies in Agricultural Environment: A Survey*, vol. 113, no. 4. Springer US, 2020.